



Manual for udførelse af triaksialforsøg ved AAU

Kap. 3, Programbeskrivelse

Praastrup, U.

Publication date:
1999

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Praastrup, U. (1999). *Manual for udførelse af triaksialforsøg ved AAU: Kap. 3, Programbeskrivelse*. Geotechnical Engineering Group. AAU Geotechnical Engineering Papers : Manuals & Guides Bind R9914 Nr. 3

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

AAU Geotechnical Engineering Papers

ISSN 1398-6465 R 9914

**Manual for udførelse af triaksialforsøg ved AAU - Kap. 3 -
Programbeskrivelse (Manual for triaxial tests at AAU -
Chapt. 3 - Program description)**

U. Praastrup

1999

Manuals & Guides No 3



**GEOTECHNICAL ENGINEERING GROUP
AALBORG UNIVERSITY DENMARK**

KAPITEL 3 PROGRAMBESKRIVELSE	3
3.1. OM BAGGRUNDEN FOR PROGRAMMET	3
3.2. OM AT STARTE "TRIAMENU" OG DENS BRUGERGRÆNSEFLADER	3
3.2.1. MGC-MENUEEN	5
3.2.2. CMP-MENUEEN	5
3.2.3. TEST AF Udstyr	6
3.3. DATAFILER	6
3.3.1. FILER MED KALIBRERINGSFAKTORER	7
3.3.2. FILER MED KALIBRERINGSDATA	8
3.3.3. FORSØGSDATAFILER	8
3.3.4. FILEN "TRIAX.DAT"	9
3.3.5. FILEN "STR_PATH.TXT"	9
3.4. GENERELT OM STYRING	9
3.4.1. TIDSBESTEMT SPÆNDINGSSTYRING	10
3.4.2. PORETRYKSBESTEMT SPÆNDINGSSTYRING	11
3.4.3. KORREKTIONSBESTEMT SPÆNDINGSSTYRING	11
3.4.4. LIDT OM GRÆNSERNES VIRKEMÅDE	12
3.5. HOVEDMENUEN OPSTART	13
3.5.1. START ET FORSØG	13
3.5.2. VANDMÆTNING	14
3.5.3. UDLJRING AF SANDPRØVE	14
3.5.4. SKEMPTONS B-VÆRDI	14
3.5.5. ETABLERING AF BACKPRESSURE	15
3.6. HOVEDMENUEN KALIBRERING	15
3.6.1. KALIBRERING AF Udstyr	15
3.6.2. OPRET EN KALIBRERINGSFIL	16
3.7. HOVEDMENUEN KONSOLIDERING	16
3.7.1. ISOTROP	16
3.7.2. ANISOTROP	17
3.7.3. K0-TIDSSTYRET	17
3.7.4. K0-PORETRYKSSTYRET	18
3.7.5. OEDOMETER-PORETRYKSSTYRET	18
3.7.6. AREALKONSTANT	19
3.7.7. STYRET FRA FIL	19
3.8. HOVEDMENUEN BRUD	20
3.8.1. KONSTANT KAMMERTRYK, D	21



3.8.2. KONSTANT MIDDELSPÆNDING, D	22
3.8.3. KONSTANT DQ/DP, D	23
3.8.4. KONSTANT KAMMERTRYK, UD	23
3.8.5. KONSTANT VOLUMEN, UD	23
3.8.6. OEDOMETER, D	25
3.9. HOVEDMENUEN GENOPSTART	25
3.10. HOVEDMENUEN INFORMATION	25
3.10.1. VIS EN FIL	25
3.10.2. VIS BILLEDER	25
3.10.3. VIS DATA FOR AFLÆSNING	26
3.10.4. AFLÆS VÆRDIER	27
3.10.5. NULPUNKT STEMPEL	27
3.10.6. RET GENERELLE DATA	27
3.10.7. OM PROGRAMMET	27
3.11. HOVEDMENUEN AFSLUT	27
3.11.1. AFSLUT TRIN	27
3.11.2. TØJNINGSGRÆNSER	28
3.11.3. SPÆNDINGSGRÆNSER	28
3.12. REFERENCER OG NYTTIGE HENVISNINGER	28

Kapitel 3

Programbeskrivelse

Ulrik Praastrup, Aalborg Universitet, Aalborg, Danmark

Der skal i forbindelse med udførelsen af triaxial forsøg opsamles en del forsøgsdata, samtidig med at forsøgene skal styres på en eller anden måde. I de mest moderne triaxial apparater foretages både styring og opsamling via et elektronisk system, der består af en computer, nogle elektroniske transducere og nogle opsamlingsenheder. Opsamlingsenhederne forstærker transducernes elektroniske signaler og kan tillige kommunikere med computeren, når de rigtige programmer er installeret herpå. "Triamenu" er det program, der bruges til styring og opsamling i forbindelse med udførelsen af triaxial forsøg på Aalborg Universitet. Programmet er implementeret som et almindeligt Windows program, hvor brugeren klikker sig vej gennem programmet via en indbygget menu. Kapitlet beskriver den praktiske brug af programmet, mens mere tekniske detaljer ikke berøres. Afsnit 3.1 fortæller lidt om baggrunden for programmet. Afsnit 3.2 forklarer, hvordan programmet startes op, men giver også en oversigt over de enkelte menupunkter. Afsnit 3.3. ser lidt nærmere på de filer, som programmet bruger og/eller genererer under et givent forsøg og/eller forsøgstrin. Afsnit 3.4 beskriver de mekanismer, som programmet anvender i styringen af de enkelte forsøgstrin. Resterende afsnit indeholder en mere detaljeret gennemgang af de enkelte menupunkter sammen med en oversigt over nogle nyttige referencer.

3.1. Om Baggrunden for Programmet

Programmet "Triamenu" er udviklet i forbindelse med udførelsen af triaxial forsøg ved Aalborg Universitet. Programmet er i vid udstrækning baseret på programmet "Cubmenul.txt", der er udviklet i forbindelse med udførelse af kubiske forsøg ved samme universitet. Programmerne er udviklet i et samarbejde mellem Ph.D.-studerende Ulrik Praastrup og Lektor Lars Bo Ibsen. Programmet indgår i førstnævntes Ph.D.-afhandling. Forfatterne har brugt meget tid på at gøre programmerne brugervenlige og indeholder efter vores opfattelse så meget information, at en uerfaren bruger burde kunne gennemføre et forsøg alene på baggrund af informationerne i programmerne. Programmerne er implementerede som helt almindelige Windows programmer, hvor de forskellige rutiner og procedurer aktiveres via en indbygget menu. Al interaktiv informationsudveksling mellem program og bruger foretages gennem almindelige Windows pop-up bokse, mens ikke interaktive informationer sendes til brugeren gennem en grafisk brugergrænseflade.

Programmerne er, som forklaret i kapitel 2, implementeret i programmeringssproget HTBasic (version 5.2 for Windows). Kapitel 2 forklarer, hvordan "Triamenu" installeres på computeren, samt hvordan det samlede elektroniske system konfigureres efter standardkonfigurationen. Det antages i det følgende, at installationen af programmet samt konfigureringen af det elektroniske system er foretaget i overensstemmelse med forskrifterne i kapitel 2.

3.2. Om at Starte "Triamenu" og Dens Brugergrænseflader

Programmet startes ved at brugeren i HTBasic konsollen gør følgende:

- Skriv *Load* "Triamenu" og tryk <Enter>.
- Skriv *RUN* og tryk <Enter>.

Brugeren skal umiddelbart efter opstarten besvare følgende spørgsmål; 1) skal backpressuresystemet og/eller vægten bruges til måling af prøvens volumenændringer?, 2) skal CMP'en eller MGC'en bruges som opsamlingsenhed? og 3) skal stempeltrykket måles med en krafframme eller en vejecelle?.

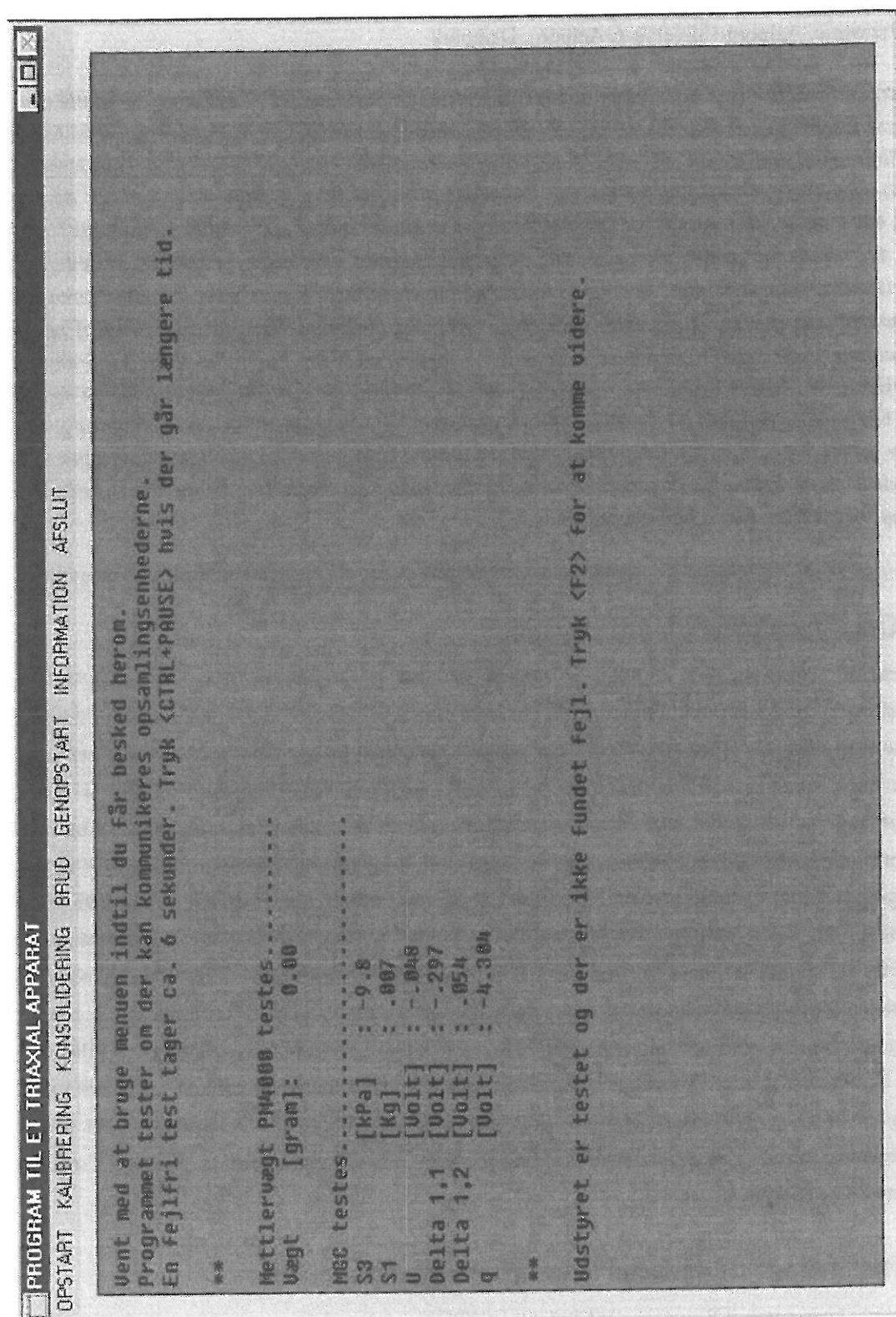


Fig. 1. Et eksempel på Triamenu's brugergrænseflade.

Når brugeren har besvaret spørgsmålene tilfredsstillende, genererer programmet en brugergrænseflade, hvis udseende vil afhænge af svarene på de stillede spørgsmål. Et eksempel er vist i figur 1.

Brugergrænsefladen består, som vist i figuren, af et grafisk output område samt en række menupunkter. Output området bruges til visning af forsøgsdata samt til visning af ikke interaktive informationer, mens menupunkterne bruges til aktivering af forskellige programrutiner. Hovedmenuen består af følgende menu-punkter; *Opstart*, *Kalibrering*, *Konsolidering*, *Brud*, *Genopstart*, *Information* og *Afslut*.

3.2.1. MGC-Menuen

Til hver af menupunkterne i hovedmenuen knytter der sig en række undermenupunkter, hvis antal og udseende afhænger af de svar som brugeren gav, da programmet blev startet. Figur 2 viser de menupunkter, som brugeren kan benytte når MGC'en bruges som opsamlingsenhed, når backpressuresystemet bruges til måling af volumenændringer og når kraftrammen bruges til måling af stempeltryk.

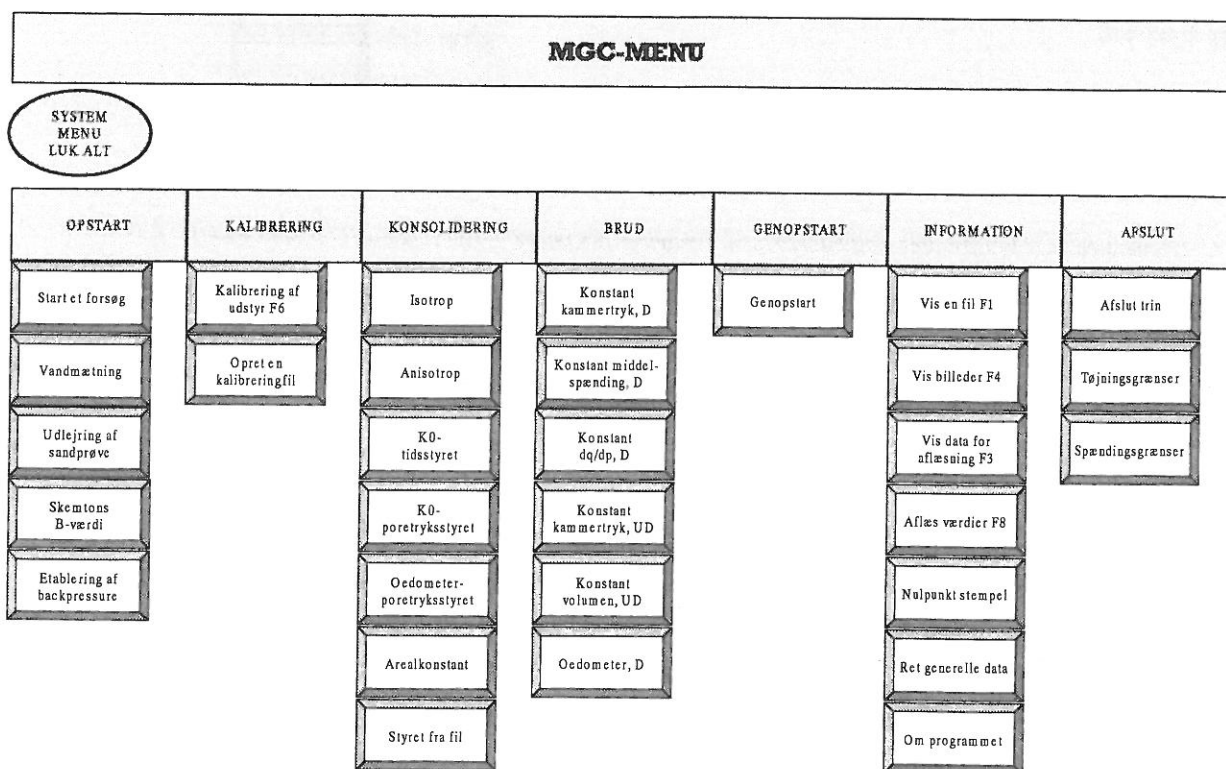


Fig. 2. MGC-menu, når kraftrammen og backpressuresystemet bruges. D: Drænet og UD: UDrænet.

Når backpressuresystemet fravælges, bortfalder de to sidste menupunkter under hovedmenuen *Opstart*. Når kraftrammen fravælges, reduceres punkterne under *Konsolidering* og *Brud* til kun at bestå af; *Isotrop*, *Oedometer-poretryksstyret*, *Konstant Kammertryk(D)*, *Konstant Kammertryk(UD)* og *Oedometer(D)*. Årsagen hertil er, at vejecellen kun måler stempeltrykket korrekt, når kammertrykket holdes konstant samtidig med, at stempeltrykket skal måles.

3.2.2. CMP-Menuen

CMP'en er ikke så avanceret som MGC'en, og det er ikke muligt at gennemføre de mere avancerede forsøg, når CMP'en bruges som opsamlingsenhed. CMP-menuen er for det tilfælde, hvor kraftrammen bruges sammen med backpressuresystemet vist i figur 3.

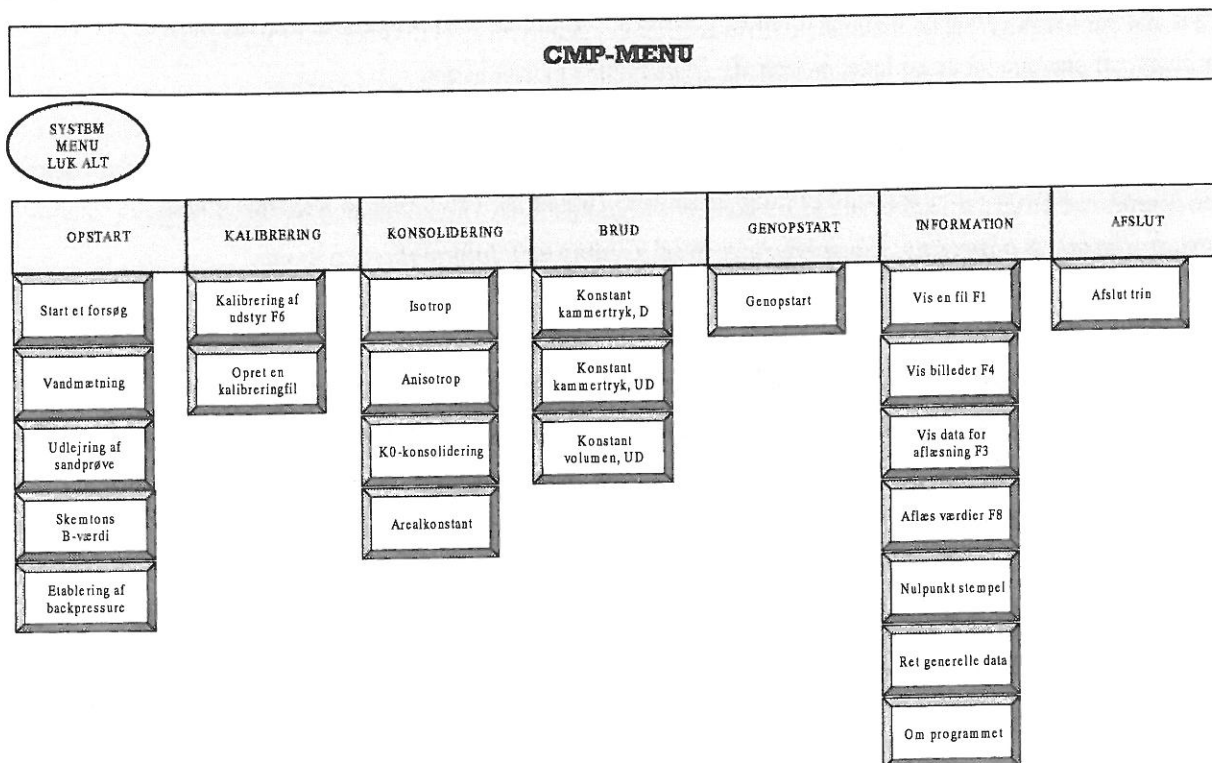


Fig. 3. CMP-menuen, når kraftrammen og backpressuresystemet anvendes. D: Drænet og UD: UDrænet.

Når backpressuresystemet fravælges, ændres CMP-menuen som MGC-menuen, da de sidste to menupunkter under hovedmenuen *Opstart* bortfalder. Når vejecellen vælges til måling af stempeltrykket, bortfalder punkterne; *Anisotrop*, *K₀-konsolidering*, *Arealkonstant* og *Konstant volumen(UD)*.

3.2.3. Test af Udstyr

I umiddelbar forlængelse af opstarten tester programmet det udstyr, der er koblet til computeren. Hvis programmet i denne fase kører fast, skyldes det sandsynligvis, at en af opsamlingsenhederne er konfigureret forkert, eller at der er opstået problemer med et eller flere kabler (se evt. kap. 2). Disse problemer skal løses, før programmet kan køre og skal endvidere genstartes. Når udstyret er gennemtestet uden fejlmeldinger, bedes brugeren om at indtaste nogle oplysninger, der skal bruges i forbindelse med oprettelse af datafiler. Brugeren kan herefter bruge menuen, som det passer brugeren bedst.

3.3. Datafiler

“Triamenu” administrerer selv, hvor og hvornår data gemmes. Afsnittet forklarer, hvilke data der gemmes og hvor de gemmes. Nogle filtyper genereres af programmet, mens andre filtyper indlæses i programmet. Begge filtyper gennemgås i nærværende afsnit. Programmet anvender to forskellige typer kalibreringsfiler; en type som indeholder værdier og informationer om kalibreringsfaktorerne, og en type som indeholder data fra en kalibreringsprocedure. Førstnævnte refereres til som filer med kalibreringsfaktorer, mens sidstnævnte refereres til som filer med kalibreringsdata.

De filer, hvori forsøgsdata gemmes, kaldes i det følgende for forsøgsdatafiler. Forsøgsdatafiler indeholder enten generelle data (så som nulpunkter), eller de data som aflæses under et givet forsøgstrin. Forsøgsdatafilerne navngives efter navnet på forsøget samt forsøgstypen. Forsøgsdatafilen indeholdende de

generelle data hedder eksempelvis "G990101", når forsøgsnavnet er 990101. Forsøgsdatafiler lagres på computerens harddisk i et underbibliotek, der svarer til forsøgsnavnet. Data fra forsøget 990101 vil eksempelvis lagres i biblioteket "c:\htbwin\forsøg\triax\990101\". I forsøgsdatafilerne gemmes kun ubehandlede data. Behandlede data gemmes derimod i en fil der hedder "Triax.dat". "Str_path.txt" er en fil, der bruges i forbindelse med filstyrede forsøg. Tabel 1 indholder en oversigt over, hvor de nævnte filer er placeret eller placeres i computeren.

Bibliotek	Datafiler
"c:\htbwin\forsøg\triax\forsøgsnavn\"	Alle forsøgsdatafiler
"c:\htbwin\kalibfil\triax\"	Alle kalibreringsfiler
"c:\htbwin\str_path\"	"Str_path.txt"
"c:\htbwin\grafdata\"	"Triax.dat"
"a:\"	Backup af forsøgsdatafiler, styreprogram samt kalibreringsfiler

Tabel 1. Biblioteker og deres anvendelse i forbindelse med datafilerne.

Af tabellen fremgår det, at filerne "Str_path.txt" og "Triax.dat" ikke kopieres over på disketten i a-drevet, og at disse filer heller ikke findes under det bibliotek, hvor forsøgsdatafilerne gemmes. Hvis en kopi af disse filer ønskes, skal dette gøres manuelt. De følgende afsnit ser nærmere på filernes syntaks, og der er på installationsdisketterne vedlagt eksempler på nogle af disse filer.

3.3.1. Filer med Kalibreringsfaktorer

Kalibreringsfaktorerne bruges, som forklaret i kapitel 2, til at oversætte output signaler til display signaler. Kalibreringsfaktorerne skal værdisættes og gemmes i en kalibreringsfil, da kalibreringsfilen skal indlæses i programmet for at dette kan køre fejlfrit.

Værdifastsættelsen af kalibreringsfaktorerne foretages ved at måle og analysere samhørende værdier for henholdsvis output signaler og display signaler. Signalerne analyseres ved lineær regression, og regressionskoefficienten bruges som kalibreringsfaktor.

Kalibreringsfilen oprettes via menuen *Opret en kalibreringsfil*, hvor programmet beder brugeren om at indtaste værdierne for kalibreringsfaktorerne. Brugeren har, som nævnt i kapitel 2, under standardkonfigurationen adgang til tre standardkalibreringsfiler, hvis mulige anvendelse fremgår af tabel 2.

Kalibreringsfil	Anvendelse
Default.kal	Generel kalibreringsfil, der foreslås af Triamenu
Def_cmp.kal	Generel kalibreringsfil, der kan bruges sammen med CMP'en. Enheder og værdier svarer til standardkonfigurationen*
Def_mgc.kal	Generel kalibreringsfil, der kan bruges sammen med MGC'en. Enheder og værdier svarer til standardkonfigurationen*
*Se kapitel 2	

Tabel 2. Standardkalibreringsfiler. Filerne kan under standardkonfigurationen findes i biblioteket "c:\htbwin\kalibfil\triax" eller på en af programmets installationsdisketter.

Syntaksen for kalibreringsfilerne er meget enkel, idet de første 12 linier indeholder information om kalibreringsfilen, mens de sidste otte linier indeholder værdierne for kalibreringsfaktorerne.

3.3.2. Filer med kalibreringsdata

Menuen *Kalibrering af udstyr* bruges selvfølgelig til kalibrering af udstyr. Brugeren indtaster i første omgang et filnavn, hvori aflæste data gemmes, indtil brugeren fortæller programmet, at kalibreringsproceduren skal afsluttes. Programmet aflæser og gemmer de nødvendige data, hver gang menupunktet aktiveres. Når en kalibreringsprocedure er afsluttet, skal der igen testes et filnavn, hvis menupunktet aktiveres igen.

3.3.3. Forsøgsdatafiler

Der findes som nævnt to typer af forsøgsdatafiler. Den ene type indeholder forsøgets generelle data, mens den anden type indeholder de data, som aflæses under et givent forsøgstrin. Filer med generelle data indeholder en lang række informationer om forsøget. Det drejer sig om nulpunkter for de forskellige transducere og forskellige karakteristika for prøven. Filer indeholdende generelle data starter altid med "G", og der findes kun en fil til hvert forsøg. Filnavnene, på den anden type af forsøgsdatafiler, skabes efter et bestemt mønster. Filnavnet indeholder otte tegn, hvoraf de to første tegn refererer til forsøgstypen, mens de øvrige tegn refererer til forsøgsnavnet. Tabel 3 giver en lidt mere detaljeret forklaring på dette forhold sammen med angivelse af, hvornår de forskellige filer oprettes og/eller bruges.

Fil der starter med	Forsøgsbeskrivelse	Drænet/udrænet	Menupunkt
IS	Isotrop	Drænet	Vandmætning, Isotrop og Afslut trin
KK	Konstant kammertryk	Drænet	Konstant kammertryk, D og Afslut trin
AK	Areal konstant	Drænet	Areal konstant og Afslut trin
KM	Konstant middelspænding	Drænet	Konstant middelspænding, D og Afslut trin
QP	Forholdet dq/dp holdes konstant	Drænet	Konstant dq/dp, D og Afslut trin
UK	Konstant kammertryk	Udrænet	Konstant kammertryk, UD og Afslut trin
CV	Konstant volumen	Drænet/udrænet	Konstant volumen, UD og Afslut trin
OE	Oedometerforsøg	Drænet	Oedometer-poretryksstyret, Oedometer, D og Afslut trin
FL	Filstyret forsøg	Drænet/udrænet	Styret fra fil og Afslut trin
AI	Anisotrop	Drænet	K0-tidsstyret, K0-poretryksstyret, Anisotrop og Afslut trin
SB	Skemptions B-værdi	Udrænet	Skemptions B-værdi, Etablering af backpressure og Afslut trin

Tabel 3. Oversigt over de filtyper der kan oprettes eller som benyttes, når programmet køres. Indholdet i første kolonne svarer til de første to bogstaver i filnavnet.

Syntaksen for denne type af forsøgsdatafiler er også meget enkel. De første linier indeholder noget information om forsøget, mens de næste linier forklarer strukturen i de data, som resten af filen består af.

3.3.4. Filen "Triax.dat"

På skærmen udskrives nogle display signaler, alt afhængigt af, hvilken forsøgstype der køres. Display signalerne gemmes endvidere i filen "Triax.dat", hvis syntaks fremgår af tabel 4. Hvert display signal har sig egen kolonne i filen.

1 [kPa]	2 [kPa]	3 [kPa]	4 [kPa]	5 [kPa]	6 [kPa]	7 [kPa]
Aksial spænding, T	Radial spænding, T	Poretryk	Differens-poretryk	Deviator spænding	Middelspænding, T	Middelspænding, E
8 [kPa]	9 [-]	10 [%]	11 [%]	12 [%]	13 [%]	14 [%]
Backpressure-variabel	Ekstra	Aksial tøjning, I	Rad. tøjning, I	Vol. tøjning, vægt, F	Vol. tøjning, samlet, I	Vol. tøjning, samlet, F
15 [%]	16 [%]	17 [mm ²]	18 [min]	19	20	
Naturlig aksial tøjning, F	Naturlig rad. tøjning, F	Tværsnitsareal	Tid efter trinnets start	Ekstra	Ekstra	

Tabel 4. Syntaksen i "Triax.dat". Et tal angiver kolonnens nummer. E angiver en effektiv spænding, mens T angiver en total spænding. F angiver, at deformationsmålet er finite, mens I angiver, at deformationsmålet er infinite.

Filen kan bruges til løbende optegning af forsøgsresultaterne eller bruges i forbindelse med den efterfølgende forsøgsanalyse.

3.3.5. Filen "Str_path.txt"

I programmet kan der udføres en forsøgstype, hvor spændingsstien bestemmes af data fra en fil. Brugeren kan i princippet selv bestemme navnet på filen, men indholdet af filen kopieres over i "Str_path.txt", når forsøgstypen køres.

Filens syntaks er også simpel, idet den første kolonne indeholder værdier for den totale aksiale spænding, mens den anden kolonne indeholder værdier for kammertrykket. Spændingerne angives i kPa.

3.4. Generelt om Styring

Den helt store fordel ved at anvende "Triamenu" i forbindelse med udførelsen af triaxial forsøg er, at forsøgene kan styres både automatisk og manuelt. Den manuelle styring foregår enten ved at stille (eller sætte) nogle grænser manuelt eller ved at styre stempel- og kammertrykket manuelt. En nærmere beskrivelse af hvordan grænserne virker, gives senere i dette afsnit. Kammertrykket styres manuelt ved at dreje på det hjul, som sidder på det bord, hvor triaxial apparatet er indbygget. Stempeltrykket styres manuelt ved hjælp af nogle knapper, som ligeledes er monteret på bordet.

Den automatiske styring foregår ved at nogle grænser indstilles og ændres gennem programmet og de tilkoblede opsamlingsenheder. Måden hvorpå disse grænser ændres betegnes i det følgende som styringsmekanismer. Der er i programmet indbygget fire forskellige styringsmekanismer, og de forklares nærmere i det følgende.

Styringsmekanismerne benævnes som følger:

- Fotocellebestemt spændingsstyring.
- Tidsbestemt spændingsstyring.
- Poretryksbestemt spændingsstyring.
- Korrektionsbestemt spændingsstyring.

Den fotocellebestemte spændingsstyring kan aktiveres uafhængigt af, om CMP'en eller MGC'en bruges som opsamlingsenhed og gennemgås i forbindelse med beskrivelsen af rutinen bag menupunktet *Konstant volumen, D*. De øvrige styringsmekanismer kan kun aktiveres, når MGC'en bruges som opsamlingsenhed og gennemgås i de følgende afsnit.

Inden gennemgangen af styringsmekanismerne skal der lige nævnes et par ting. Et forsøgstrin defineres som menupunktets bagved liggende rutine. Et forsøgstrin aktiveres ved, at brugeren aktiverer et af punkterne i menuen. Et forsøgstrin er overstået (eller kørt til ende), når brugeren får oplyst dette på skærmen. Når et forsøgstrin er overstået, bliver programmet ved med at opsamle og gemme data, men styringsmekanismen sættes ud af funktion. Programmet bibeholder den spændingstilstand, som forsøgstrinnet stoppede ved. Opsamlingen af forsøgsdata stoppes ved, at brugeren aktiverer undermenuen *Afslut trin*, og det påpeges at brugeren altid skal afslutte et forsøgstrin ved aktivering af dette menupunkt.

3.4.1. Tidsbestemt Spændingsstyring

Programmet bruger den tidsbestemte spændingsstyring, når prøvens spændingstilstand skal ændres fra et niveau til et andet over en vis tidsperiode. I nogle tilfælde styres der kun på en spændingskomponent, mens der i andre tilfælde styres på begge spændingskomponenter. Figur 4 viser i grove træk, hvordan styringen fungerer.

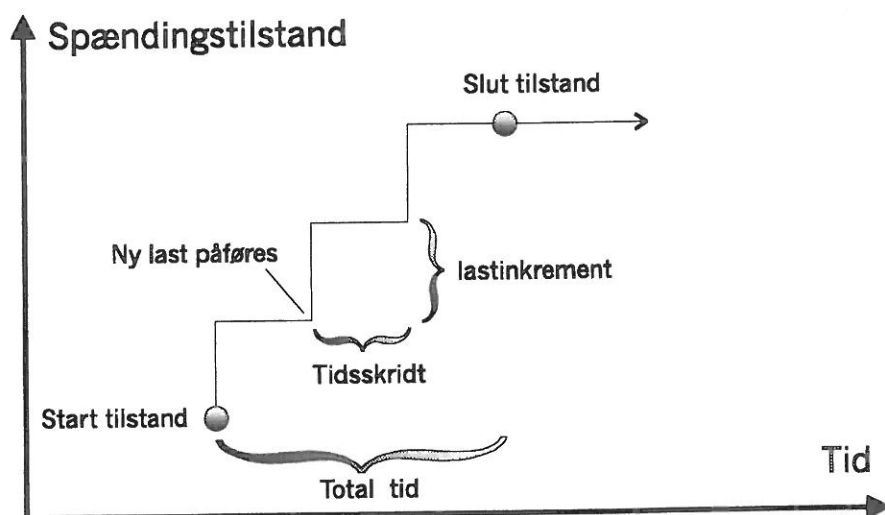


Fig. 4. Skitse af den tidsbestemte spændingsstyring. Tidsskridt og lastinkrement holdes konstant gennem hele forsøgstrinnet. I de menuer hvor styringen anvendes, skal der indtastes værdier for spændingernes start og slut tilstand sammen med størrelsen af tidsskridtet og den totale tid for styringsmekanismen.

Når styringsmekanismen aktiveres bliver brugeren bedt om at indtaste en række oplysninger. Programmet skal oplyses om; (1) tidsskridtet, det vil sige tiden mellem hver gang der skal påføres en ny last, (2) den

totale tid samt (3) start og slut spændingstilstandene. Tidsskridtet holdes konstant gennem hele forsøgstrinnet og bruges sammen med de andre oplysninger til at beregne det lastinkrement, som spændingstilstanden skal ændres med efter hvert tidsskridt. Lastinkrementet holdes konstant gennem hele forsøgstrinnet. Figuren viser, at det første lastinkrement påføres umiddelbart efter aktiveringen af styringsmekanismen. Styringsmekanismen kan aktiveres gennem menupunkterne, *Vandmætning*, *Skemptions B-værdi*, *Etablering af backpressure*, *Isotrop*, *Anisotrop*, *K0-tidsstyret* og *Styret fra fil*.

3.4.2. Poretryksbestemt Spændingsstyring

Under den tidsbestemte spændingsstyring påføres der et lastinkrement, hver gang der er gået en tid, der svarer til tidsskridtet, indtil den ønskede spændingstilstand er opnået. Under den poretryksbestemte spændingsstyring opdeles den totale spændingsændring for hele forsøgstrinnet også i lastinkremer. Det totale antal lastinkremer for forsøgstrinnet skal indtastes, inden styringsmekanismen kan aktiveres. Lastinkrementets størrelse beregnes ud fra start- og sluttillstanden, der ligeledes skal indtastes. Figur 5 viser, hvordan styringsmekanismen virker.

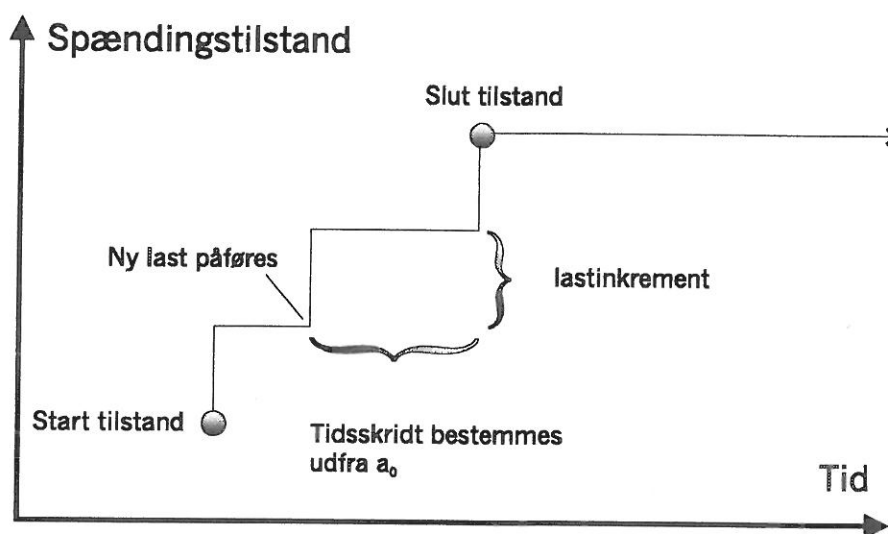


Fig. 5. Skitse af den poretryksbestemte spændingsstyring. Tidsskridtet bestemmes primært af forholdet mellem poreovertrykket og den totale aksiale spænding. I "Triamenu" indtastes antallet af spændingstrin, værdien for a_0 og spændingstilstandens start og slut tilstand.

Det første lastinkrement påføres så snart processen sættes i gang. Efterfølgende inkremer påføres, når poreovertrykket er faldet til et bestemt niveau, samtidig med at den ønskede totale spændingstilstand svarer til den målte. Det omtalte niveau bestemmes af forholdet, a_0 , der defineres som forholdet mellem poreovertrykket og den ønskede totale aksiale spænding. Brugeren skal selv indtaste værdien for a_0 , før styringsmekanismen kan sættes i gang. Styringen kan aktiveres gennem menupunkterne; *Anisotrop*, *K0-poretryksstyret* og *Oedometer-poretryksstyret*.

3.4.3. Korrektionsbestemt Spændingsstyring

Under den poretryks- og tidsbestemte spændingsstyring fastsættes begge spændingskomponenter helt autonomt. Dette er ikke tilfældet under den korrektionsbestemte spændingsstyring, hvor der kun styres på kammertrykket. Den korrektionsbestemte styring bruges i de tilfælde, hvor brugeren ønsker at korrigere kammertrykket i forhold til den målte aksiale spænding. Den korrektionsbestemte styring er derfor både

tøjnings- og spændingsstyret, hvorimod de to andre mekanismer kun er spændingsstyrede. Brugeren styrer under den korrektionsbestemte spændingsstyring selv den aksiale tøjning (eller mere præcist den aksiale tøjningshastighed). Ethvert forsøg der anvender denne styringsmekanisme startes ved, at brugeren tænder for den motor, der styrer stemplet. På triaxial apparatet findes der nogle knapper og et display, hvor brugeren kan indstille, med hvilken tøjningshastighed stemplet skal bevæge sig.

Styringsmekanismen forklares nemmest med et lille eksempel. Lad os sige, at vi ønsker at køre et brudforsøg, hvor middelspændingen skal holdes konstant gennem hele forsøgstrinnet. Den aksiale spænding vil ændre sig gennem hele forsøget, idet motoren til stemplet tændes. Da middelspændingen skal holdes konstant, skal kammertrykket korrigeres efter den aksiale spænding. Dette gøres ved, at den aksiale spænding aflæses, hvorefter programmet beregner den værdi, som kammertrykket burde være for at middelspændingen var konstant. Den beregnede værdi sendes umiddelbart efter aflæsningen af den aksiale spænding over til den MGC kanal, der styrer kammertrykket. Kammertrykket justeres da til den ønskede værdi. Figur 6, viser hvordan styringsmekanismen virker.

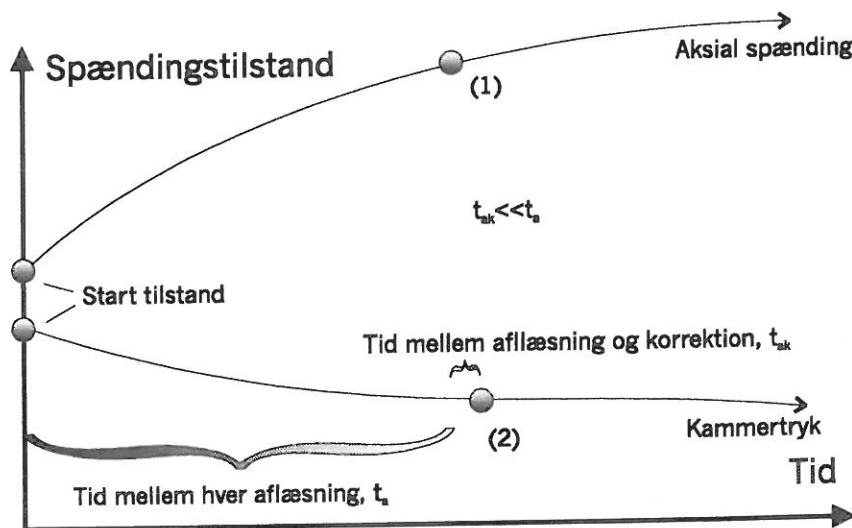


Fig. 6. Skitse af den korrektionsbestemte spændingsstyring. (1) den aksiale spænding aflæses og/eller beregnes (2) kammertrykket korrigeres. $t_a = 1-2$ sek. $t_a \gg t_{ak}$.

Den korrektionsbestemte styring kan aktiveres via følgende menupunkterne; *Konstant middelspænding, D* og *Konstant dq/dp* . Det bør i denne forbindelse lige nævnes, at dq er ændringen i stempeltrykket målt i kPa, mens dp er ændringen i middelspændingen.

3.4.4. Lidt om Grænsernes Virkemåde

MGC'en er, som nævnt i kapitel 2, en ret avanceret styre- og opsamlingsenhed. MGC styringen virker i princippet ved, at der til hver transducer kort, er monteret et ekstra kort, der meget passende kan kaldes for et "styre kort". Styrekortet består i grove træk af en række relæer, der kan slås til og fra, afhængigt af de grænser, som kan sendes fra computeren til MGC'en. Når et relæ aktiveres, starter styrekortet den motor, som kortet er forbundet med. Relæerne aktiveres ved at transducerens output signal enten er for stor eller for lille i forhold til de tilsendte grænser, og deaktiveres når signalet holder sig inden for grænserne.

Af figur 7 ses det, at der findes to typer af grænser. Det drejer sig om off- og on-grænser. Off-grænserne deaktiverer (eller slukker) for den pågældende motor, mens on-grænserne aktiverer (eller tænder) motoren.

“Triamenu” specificerer begge typer af grænser i kommunikationen med MGC'en, hvilket vil sige, at programmet sender fire grænseværdier for hver ønskede spændingstilstand. Anvendes CMP'en i stedet for MGC'en, kan grænseværdier ikke sættes via programmet, da CMP'en ikke understøtter denne facilitet. Grænserne kan dog sættes manuelt på CMP'en.

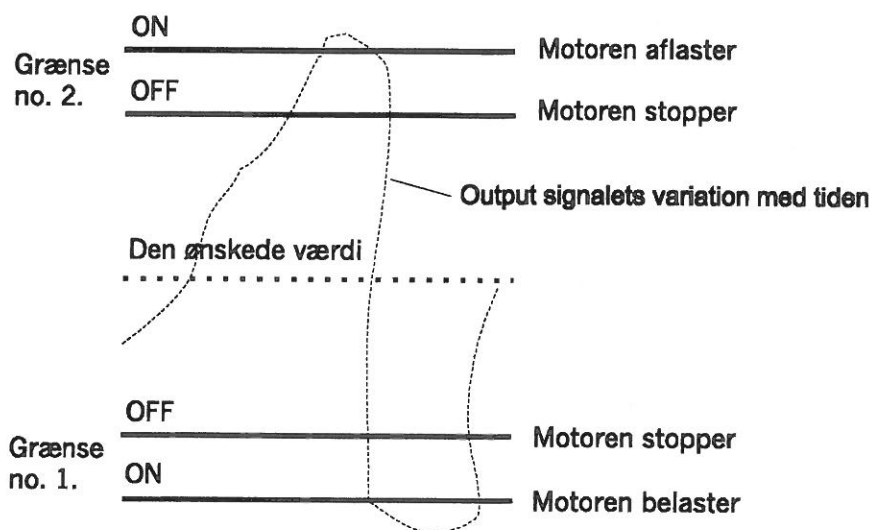


Fig. 7. Principskitse af grænsernes virkemåde.

De følgende afsnit forklarer, hvad de enkelte menupunkter kan bruges til, samt hvordan de bagved liggende rutiner og procedurer fungerer. Afsnittene er opdelt som menupunkterne i den brugergrænseflade, hvor MGC'en bruges som opsamlingsenhed, kraftrammen bruges til måling af stempeltrykket, og backpressure-systemet bruges til måling af prøvens volumenændringer.

3.5. Hovedmenuen Opstart

Hovedmenuen *Opstart* indeholder de menupunkter, der skal bruges i forbindelse med, at brugeren starter et helt nyt forsøg. Brugeren kan vælge mellem fem menupunkter. De to sidste punkter kan kun aktiveres, hvis brugeren har valgt at benytte backpressure-systemet. De første punkter bruges til at starte et helt nyt forsøg, og vil være at finde i menuen.

Det bør i denne sammenhæng nævnes, at brugeren altid skal starte programmet op, når der skal køres et helt nyt forsøg. Det betyder selvfølgelig, at hvis programmet allerede er kørende, så skal det lukkes ned og startes igen. Programmet kan lukkes ned via programmets systemmenu.

3.5.1. Start et Forsøg

For at starte et helt nyt forsøg skal menupunktet *Start et forsøg* aktiveres. Menupunktet bør dog ikke aktiveres, før prøven er installeret i apparatet. Hvis brugeren er ufamilær med, hvordan en prøve installeres, så bør menupunktet *Udlejring af sandprøve* aktiveres inden *Start et forsøg* aktiveres. Menupunktet *Udlejring af sandprøve* gennemgår en traditionel udlejnings- og prøveforberedelsesprocedure for en prøve af sand.

Når menupunktet *Start et forsøg* aktiveres, skal brugeren til at starte med indtaste en lang række oplysninger. Det drejer sig om prøvens højde, diameter og vægt samt forsøgsnavnet og navnet på den kalibreringsfil, som brugeren ønsker at anvende. Forsøgsnavnet skal bestå af præcis otte tegn. Programmet aflæser herefter nulpunkter for kammertrykket og flytningstransducere, mens de resterende nulpunkter

aflæses efter vandmætningsproceduren. Brugeren kan, når hele processen er gennemgået, aktivere et andet menupunkt, som i de fleste tilfælde vil være punktet *Vandmætning*.

3.5.2. Vandmætning

I triaxial apparater af AAU-typen kan prøvens volumenændring under et forsøg måles på to måder, det være sig med vægten eller backpressuresystemet. Begge måder kræver dog, at prøven vandmættes. Prøven skal naturligvis også vandmættes, hvis brugeren vil måle poretrykket under forsøget.

En prøve kan vandmættes på flere forskellige måder, af mere kendte metoder bør følgende nævnes; vandmætning med backpressure, vandmætning med difference vakuum, vandmætning med vakuum, vandmætning med CO₂. Programmet er i realiteten ligeglad med, hvilken vandmætningsprocedure brugeren vælger at anvende, da programmets opgave alene henføres til opsamling af data samt eventuelt at holde et konstant kammertryk. Brugeren gør typisk et par ting inden vandet introduceres i prøven. Programmet kan hjælpe brugeren hermed, som forklaret i det følgende.

Når menupunktet *Vandmætning* aktiveres, har brugeren typisk påført prøven et lille undertryk på omkring 20 kPa, mens kammertrykket er i størrelsesordenen af 3-5 kPa. Undertrykket fjernes ved, at brugeren øger kammertrykket til ca. 20 kPa, samtidig med at undertrykket i prøven udlignes til atmosfære tryk. Programmet kan hjælpe brugeren med at styre kammertryksændringen, såfremt MGC'en bruges som opsamlingsenhed. Når undertrykket er fjernet, kan den valgte vandmætningsprocedure gennemføres.

Under vandmætningsproceduren opsamles alle de data, der på nuværende tidspunkt kan opsamles, og de gemmes i den forsøgsdatafil, som starter med "IS" (se tabel 3). Når prøven er vandmættet, skal brugeren aktivere menupunktet *Afslut trin*, da de sidste nulpunkter aflæses under dette menupunkt. Det skal lige nævnes, at brugeren kan deaktivere dataopsamlingen ved at aktivere *Afslut trin* på et tidligere tidspunkt. Vandmætningsproceduren skal så genstartes på et senere tidspunkt, så programmet får aflæst de rigtige nulpunkter. Når nulpunkterne er aflæst, kan brugeren aktivere et andet menupunkt. Brugeren vil i denne fase typisk skulle aktivere et af de menupunkter, der findes under hovedmenuen *Konsolidering*.

3.5.3. Udlejring af Sandprøve

Aktiveres menupunktet *Udlejring af sandprøve*, gennemløber "Triamenu" en procedure for, hvordan en sandprøve udlejres og installerer denne i triaxial apparatet. Den øvede bruger vil ikke have den store gavn af at aktivere menupunktet, mens den mindre øvede begynder bør løbe proceduren igennem mindst en gang. Proceduren er faktisk udformet sådan, at selv en hel uøvet bruger burde kunne udleje en prøve og installere den i apparatet. Da menupunktet kun giver brugeren information, så er det ikke nødvendigt at aktivere menupunktet for at starte et helt nyt forsøg.

3.5.4. Skemptions B-værdi

Menupunktet *Skemptions B-værdi* kan selvfølgelig bruges til måling af Skemptions B-værdi. For at kunne måle værdien, skal backpressuresystemet og poretryksmåleren være koblet til opsamlingssystemet, og brugeren skal have valgt at bruge backpressuresystem til måling af prøvens volumenændring. Princippet bag målingen af Skemptions B er som følger:

- 1) Der lukkes ind til prøven.
- 2) Kammertrykket øges og holdes konstant.

- 3) Poreovertrykket måles.
- 4) Skemptions B-værdi beregnes nu ved at dividere ændringen i poreovertrykket med ændringen i kammertrykket.
- 5) Gennemløb punkterne 3 og 4, indtil der opnås stabile B-værdier.

Det skal i forbindelse med oversigten nævnes, at forøgelsen af kammertrykket skal være forholdsvis lille (i størrelsesordenen 20 kPa), idet prøven forbelastes, når Skemptions B er mindre end en, der svarer til en 100% vandmættet prøve. Bruges CMP'en som opsamlingsenhed gennemføres, processen ved, at brugeren styrer kammertrykket manuelt. Processen kan derimod styres automatisk, når MGC'en bruges som opsamlingsenhed. Vælges den automatiske styring, bruger programmet den tidsbestemte spændingsstyring. Når brugeren mener, at B-værdi målingerne er blevet stabile, afsluttes processen ved at aktivere menupunktet *Afslut trin*. Under *Afslut trin* forklares det, hvordan prøven kommer tilbage til sin oprindelige spændingstilstand. Når prøven er bragt tilbage til sin oprindelige spændingstilstand, kan drænene åbnes igen. Under forsøget opsamles alle nødvendige data, og de gemmes i den forsøgsdatafil, der starter med "SB" (se tabel 3). I mange tilfælde vil den opnåede B-værdi ikke være tilfredsstillende. En mulighed er da at etablere et endnu større backpressure. Brugeren skal dog passe på, at den øvre grænse for kammertrykstransduceren ikke overstiges.

3.5.5. Etablering af Backpressure

Menupunktet *Etablering af Backpressure* kan bruges til to ting; (1) etablering af backpressure eller (2) til at ændre et eksisterende backpressure. Begge muligheder gennemføres ved enten den manuelle eller den semi-manuelle metode. Backpressure etableres eller ændres ved at ændre poretrykket inde i prøven samtidig med, at kammertrykket ændres med den samme ændring. Ønsker brugeren at køre et forsøg med et backpressure på eksempelvis 100 kPa, skal kammertryk og poretryk begge ændres med 100 kPa.

Vælges den manuelle metode, skal brugeren selv styre både kammertryk og poretryk, hvorimod brugeren slipper for at styre kammertrykket, hvis den semi-manuelle metode vælges. CMP'en kan kun håndtere den manuelle metode, hvorimod MGC'en kan håndtere begge metoder. Vælges den semi-manuelle metode, bruger programmet den tidsbestemte spændingsstyring til styring af kammertrykket, mens brugeren selv styrer poretrykket. Styring af poretrykket foretages via nogle ventiler på backpressuresystemet. Data gemmes i den forsøgsdatafil, der starter med "SB", og opsamlingen afsluttes ved at aktivere menupunktet *Afslut trin*. Brugeren kan herefter aktivere et nyt forsøgstrin.

3.6. Hovedmenuen Kalibrering

Hovedmenuen *kalibrering* indeholder to menupunkter; *Kalibrering af udstyr* samt *Opret en kalibrering fil*. Menupunkterne gennemgås i de følgende afsnit.

3.6.1. Kalibrering af Udstyr

Menupunktet *Kalibrering af udstyr* opsamler data under en kalibreringsprocedure. Når menuen aktiveres, skal brugeren fortælle programmet, hvor kalibreringsdata skal gemmes, f.eks. "kamtryk.kal". Brugeren skal også indtaste navnet på en kalibreringsfil, som bruges til visning af de behandlede data (på skærmen). Hvis brugeren ikke på forhånd er i besiddelse af en kalibreringsfil, vælges en af de standardkalibreringsfiler, der

blev nævnt i afsnit 3.3.1. Når brugeren har valgt kalibreringsfil, aflæses opsamlingsenhederne og resultatet vises på skærmen. Brugeren skal herefter svare på, om kalibreringen skal afsluttes, eller om den skal fortsættes. Hvis kalibreringen skal fortsættes, vil en ny aktivering af menupunktet resultere i, at data aflæses samt gemmes nok en gang. Efter hver aktivering kan brugeren vælge at afslutte kalibreringen. Data kan herefter analysere de opsamlede data, og når alle kalibreringsfaktorerne er bestemt, indtastes de i en kalibreringsfil.

3.6.2. Opret en Kalibreringsfil

Under menupunktet *Opret en kalibreringsfil* kan brugeren enten oprette en ny kalibreringsfil eller nøjes med at rette i en eksisterende kalibreringsfil. Hvis brugeren vælger at oprette en hel ny fil, skal brugeren indtaste værdierne for alle kalibreringsfaktorerne (i alt seks). Dette kan naturligvis undgås ved at rette i en eksisterende kalibreringsfil.

3.7. Hovedmenuen Konsolidering

Under hovedmenuen *konsolidering* findes der en række menupunkter, som kan bruges, når prøven skal konsolideres. Menupunkterne gennemgås hver for sig.

3.7.1. Isotrop

Under den isotropiske konsolideringsproces ændres kammertrykket fra et niveau til et andet, det være sig fra et højere til et lavere niveau eller fra en lavere til et højere niveau. Under den isotropiske konsolideringsproces er begge spændingskomponenter pr. definition ens. "Triamenu" tillader brugeren, at processen styres enten automatisk eller manuelt. Den automatiske metode kan dog kun anvendes, når MGC'en bruges som opsamlingsenhed. I dette tilfælde bruges den tidsbestemte spændingsstyring. Under den manuelle metode styres processen ved, at brugeren drejer på det "hjul", der styrer kammertrykket. I det følgende ses der kun på den automatiske metode.

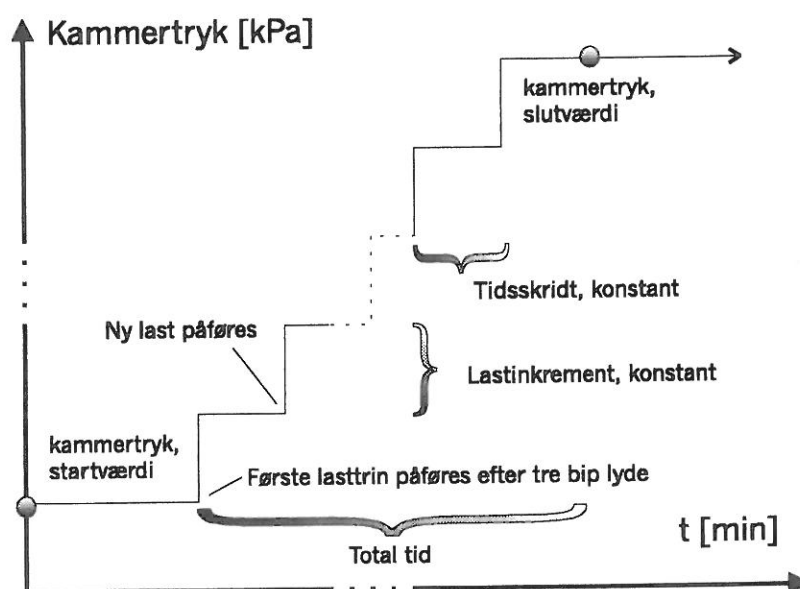


Fig. 8. Principskitse af den isotropiske belastningsprocedure. Proceduren anvender den tidsbestemte spændingsstyring.

Når menuen aktiveres, bliver brugeren bedt om at indtaste nogle oplysninger om spændingsstien, det drejer sig om; (1) kammertrykkets startværdi (2) kammertrykkets slutværdi, (3) tiden mellem hvert belastningstrin og (4) den totale tid for processen. På baggrund af de indtastede værdier starter programmet den isotropiske konsolideringsproces, som er vist i figur 8. Lastinkrementet og tidsskridtet holdes konstant gennem hele processen. Hver gang et tidsskridt er gået, påføres prøven et nyt lastinkrement, og processen fortsætter indtil den totale tid for processen er gået. Programmet fortæller brugeren, hvornår styreprocessen er færdig, og brugeren kan efterfølgende afslutte forsøgstrinnet ved aktivering af *Afslut trin*. Data gemmes den i forsøgsdatafil, der starter med "IS".

3.7.2. Anisotrop

Under den anisotropiske konsolideringsproces kan begge spændingskomponenter varieres lineært, eller den ene kan holdes konstant, mens den anden varieres lineært. Figur 9 viser forskellen mellem en isotropisk og en anisotropisk konsolideringsproces. Den anisotropiske konsolideringsproces kan udføres både manuelt og automatisk. Under den manuelle metode styrer brugeren selv de to spændingskomponenter ved; at dreje på "kammertrykshjulet", samt ved at tænde eller slukke for den motor, der styrer den aksiale spændingskomponent. Den automatiske metode kan kun bruges, når MGC'en bruges som opsamlingsenhed.

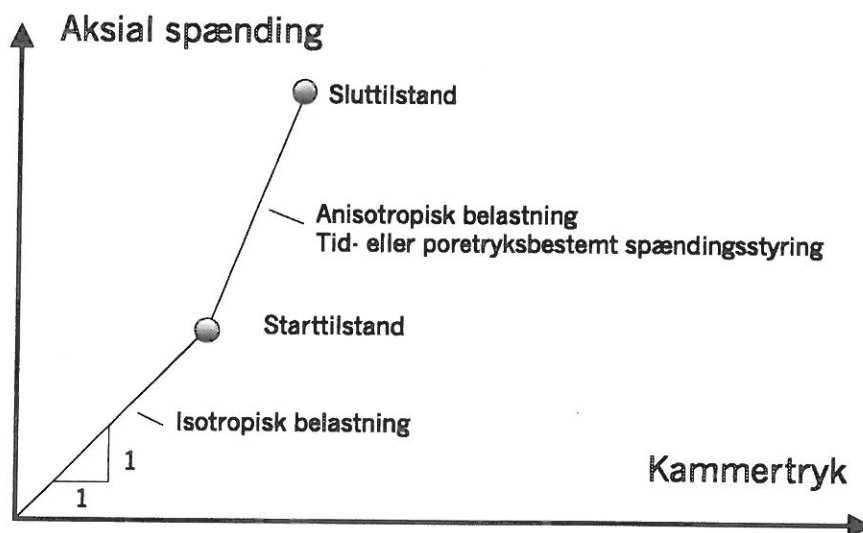


Fig. 9. En isotropisk spændingssti efterfulgt af en anisotropisk sti. Spændingernes start og slutværdier indtastes hver gang.

Under den automatiske metode kan brugeren vælge mellem to styringsmekanismer; den tidsbestemte- eller poretryksbestemte spændingsstyring. Under begge styringsmekanismer skal brugeren indtaste oplysninger om; (1) spændingskomponenternes startværdi og (2) spændingskomponenternes slutværdi. Under den tidsbestemte spændingsstyring skal der endvidere indtastes oplysninger om tidsskridtet samt den totale tid for processen. Vælges den poretryksbestemte spændingsstyring, skal brugeren indtaste en værdi for forholdet mellem poreovertrykket og den aksiale spænding og en værdi for antallet af trin. Data gemmes i den forsøgsdatafil, der starter med "AI" og afsluttes ved aktivering af menupunktet *Afslut trin*.

3.7.3. K₀-tidsstyret

Et K₀-forsøg er i realiteten bare et anisotropisk konsolideringsforsøg. K₀ kaldes i faglitteraturen for hvile-

trykkoeficienten, og beregnes som forholdet mellem den effektive radiære spænding og den effektive aksiale spænding. K_0 er således at betragte som en sekantværdi, og spændingsstien for forsøget må derfor gå gennem origo i hovedspændingsrummet.

Under en vandmætningsprocedure påføres prøven et vist isotropisk tryk, typisk for at prøven ikke skal falde sammen. Prøven står som regel med et kammertryk på omkring 20 kPa på det stadie, hvor vandmætningen er gennemført. Da spændingsstien for et K_0 -forsøg går gennem origo, skal brugeren først gennemføre et anisotropisk trin, der fører spændingstilstanden over på K_0 -stien. Princippet er skitseret i figur 10.

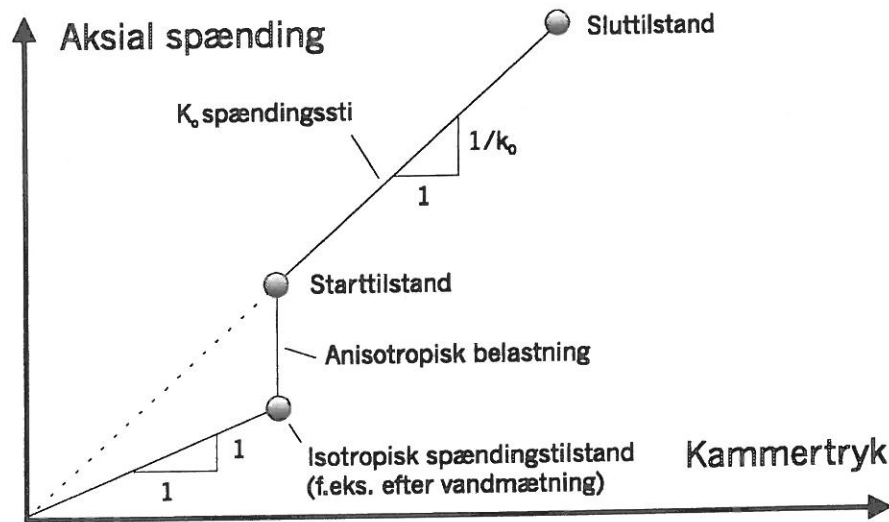


Fig. 10. Principskitse af spændingsstien under et K_0 -forsøg. Værdier for den aksiale start og slut spænding indtastes sammen med en værdi for K_0 . Under den tidsbestemte spændingsstyring indtastes værdier for tidsskridtet og den totale tid for processen.

Brugeren skal, når menupunktet aktiveres, indtaste værdier for den aksiale start og slut spænding sammen med en værdi for K_0 . Data gemmes i den forsøgsdatafil, der starter med "A1", og processen afsluttes ved aktivering af menupunktet *Afslut trin*.

3.7.4. K_0 -poretryksstyret

Det poretryksstyrede K_0 -forsøg virker i princippet som det tidsstyrede K_0 -forsøg, og der henvises bare til afsnittene 3.7.3 og 3.4.2.

3.7.5. Oedometer-poretryksstyret

Oedometerforsøg udføres traditionelt i et konsolideringsapparat, der virkeligheden har meget lidt tilfælles med det mere avancerede triaxial apparat. Kernen i konsolideringsapparat består af en meget stiv celle, der er udformet som en hul cylinder. Prøven installeres i cellen, hvor prøven efterfølgende lukkes inde. Den øverste lukning er et slags trykhoved, hvorpå en given belastning kan påføres og overføres til prøven. Cellens vægge er i princippet uendelige stive, hvilket betyder, at prøven ikke kan udvide sig sidevæts.

Geoteknikgruppen har under ledelse af lektor Lars Bo Ibsen udviklet en konsolideringscelle, som kan indbygges i et triaxial apparat. Det er med denne nye celle muligt at udføre oedometerforsøg i triaxial apparatet. Cellen og den bagved liggende forsøgsteknik er dog noget mere kompliceret end henholdsvis cellen og forsøgsteknikken for det mere traditionelle konsolideringsforsøg. Når der udføres forsøg i konsolideringsapparatet måles tid, aksial flytning samt aksial spænding, hvorimod der måles tid, poretryk,

kammertryk, aksial tøjning og aksial spænding og eventuelt sidetryk, når forsøget udføres i triaxial apparatet. Kammertrykket bruges i triaxial apparatet ikke som et "almindeligt" kammertryk, men som et backpressure, da prøven altid er i kontakt med vandet i triaxial cellen. Programmet er ikke designet til at måle sidetryk, så sidetrykket vises ikke på skærmen, hvis dette måles. Brugeren skal dog ikke være nervøs for om data for sidetrykket gemmes, under den forudsætning at sidetrykstransduceren er monteret korrekt. Der er her flere muligheder. Brugeren kan forbinde stikkene fra sidetrykstransduceren til en MVD2555, der så kobles til computeren som et fiktivt backpressuresystem. Når programmet startes, skal brugeren så bare vælge at benytte backpressuresystemet (se afsnit 3.2). En anden mulighed er at koble sidetrykstransduceren til en af de MGC- eller CMP-kanaler, der ikke anvendes under forsøget.

Forsøgsproceduren bag et poretryksstyret oedometerforsøg er i realiteten meget simpel. Brugeren skal indtaste; (1) startværdien for den aksiale spænding, (2) slutværdien for den aksiale spænding, (3) en værdi for forholdet mellem poreovertrykket og den aksiale spænding samt (4) antallet af trin. Efter brugeren har indtastet de ønskede værdier, startes processen, der senere hen afsluttes ved aktivering af menupunktet *Afslut trin*.

Programmet bruger den styringsmekanisme, der blev beskrevet i afsnit 3.4.2. Data gemmes i den forsøgsdatafil, som starter med "OE". I programmet er der indbygget to ekstra krav foruden det med, at forholdet mellem poreovertrykket og den totale aksiale spænding skal være mindre end den indtastede konstant. Det drejer sig om to krav, der sikrer at prøven befinder sig i den ønskede spændingstilstand. Begge spændingskomponenter skal i henhold til kravene ligge indenfor $\pm 2\%$ af de ønskede værdier.

3.7.6. Arealkonstant

En arealkonstant konsolideringsproces er en forsøgstype, hvor prøvens tværsnitsareal holdes konstant gennem forsøgstrinnet. Dette svarer i princippet til "OE"-forsøget, da prøvens tværsnitsareal jo heller ikke ændres under et "OE"-forsøg. En forskel mellem de to forsøgstyper er, at prøvens tværsnitsareal under et "AK"-forsøg kan varieres under de forsøgstyper, der udføres før og efter selve "AK"-forsøget. Der er forøgsteknisk stor forskel på de to forsøgstyper. I "OE"-forsøget installeres prøven i den ovenfor omtalte celle, hvorimod prøven i et "AK"-forsøg installeres i en membran.

I et "AK"-forsøg holdes arealet konstant ved, at brugeren varierer kammer- og/eller stempeltryk så positionen af en boble, der er introduceret i en speciel fremstillet linial følger de henvisninger, der løbende vises på skærmen. Der findes ikke en standard, for hvordan "AK"-forsøget udføres, men forsøget initieres typisk ved, at brugeren hæver både kammertrykket og den aksiale spænding og derefter styrer efter boblen i linealen.

Når menupunktet aktiveres, skal brugeren indtaste følgende oplysninger; (1) kalibreringsfaktor for linealen, (2) hastigheden for evt. gasudvikling og (3) boblens start position. Den fysiske enhed for linealens kalibreringsfaktoren er mm/mm^3 . Enheden for hastigheden af gasudviklingen er mm/time , mens boblens start position indtastes i mm . Da forsøget skal udføres manuelt, kan menupunktet aktiveres uafhængigt af, om MGC'en eller CMP'en bruges som opsamlingsenhed. Data gemmes i den forsøgsdatafil, der starter med "AK", og forsøgstrinnet afbrydes ved aktivering af menupunktet *Afslut trin*.

3.7.7. Styret fra Fil

Med undtagelse af "AK"-forsøget så ændres spændingerne i alle ovenfor beskrevne forsøgstyper på en lineær måde, svarende til at spændingsstien følger en linie i hovedspændingsrummet. Brugeren kan i visse

situationer have brug for at køre et forsøg, hvor spændingsstien er ikke-lineær. Dette er muligt, når menu-punktet *Styret fra fil* aktiveres. Figur 11 viser en spændingssti, der er mulig at følge, når denne forsøgstype anvendes.

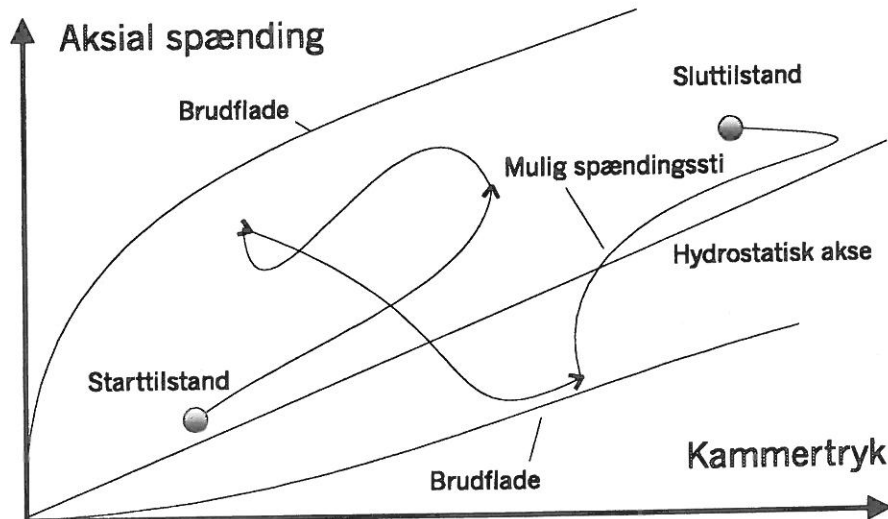


Fig. 11. Et eksempel på en filstyret spændingssti. Stien specificeres i den datafil, der i princippet kan genereres på brugerens egen computer. Filens syntaks er beskrevet i et tidligere afsnit.

Figuren viser som sagt et eksempel på en spændingssti, som programmet kan styre efter. Figuren viser herforuden et par ting, som lige bør forklares. Den hydrostatiske akse er den akse i spændingsrummet, hvor de to spændingskomponenter er ens. Brudfladen beskriver de lastkombinationer, hvor prøven bryder og angiver dermed de lastkombinationer, som prøven maksimalt kan påføres. Brugeren skal naturligvis vælge en spændingssti, der ligger indenfor prøvens brudflade. Programmet går dog ikke ned, hvis brugeren angiver spændingskombinationer, der ligger uden for brudfladen, da processen bare vil virke som et almindeligt brudforsøg (med konstant tøjningshastighed).

Processen bag menu-punktet er baseret på den tidsbestemte spændingsstyring, hvor næste spændingstilstand indlæses fra filen "Str_path.txt", hver gang der er gået en bestemt tidsskridt. Når spændingstilstanden er indlæst, beregnes de nødvendige grænseværdier, som efterfølgende sendes til MGC'en. Størrelsen af tidsskridtet skal indtastes i programmet. Menu-punktet kan som de andre mere komplicerede forsøgstyper kun aktiveres, når MGC'en bruges som opsamlingsenhed. Data gemmes i den forsøgsdatafil, der starter med "FL". Forsøget afsluttes ved aktivering af menu-punktet *Afslut trin*.

3.8. Hovedmenuen Brud

Under hovedmenuen *Brud* findes de brudforsøg, som kan gennemføres med programmet. Navnet er dog lidt misvisende, da det ikke er muligt at opnå brud i et oedometerforsøg. Forsøgene er alle tøjningsstyrede, og da dette forhold er uløseligt forbundet med brudforsøg kaldes menu-punktet for *Brud*.

Brudforsøg i triaxial apparater gennemføres almindeligvis ved at bevæge stemplet med en konstant hastighed, svarende til at tøjningshastigheden i den aksiale retning holdes konstant gennem hele forsøgstrinnet. Brugeren styrer selv bevægelsen af stemplet, og styrer dermed selv tøjningshastigheden. Styringen foretages gennem et par knapper, en strømforsyning og en TACO-styring, der alle er forbundet med den motor, som flytter stemplet. Knapperne bruges til at indstille, om stemplet skal bevæge sig op

eller ned, samt om stemplet skal styres manuelt eller automatisk. Knapperne indstilles på henholdsvis manuel og belastning (op) under det typiske brudforsøg. Det signal som vises på TACO-styringens display, kan via en kalibrering af henholdsvis motor, stempel, flytningstransducere og TACO-styring omsættes til en tøjningshastighed. Enheden for signalet på TACO-styringen er V eller mV. Værdien på displayet fremkommer ved, at TACO-styringen tæller antallet af omgange, som motorens aksel bevæger sig pr. tidsenhed. Det specielle ved TACO-styringen er, at den værdi som vises i displayet og som brugeren selv kan indstille via en anden knap, kan holdes konstant gennem hele forsøgstrinnet, hvilket igen sikrer at tøjningshastighed kan holdes konstant.

Nogle brudforsøg køres ved et konstant kammertryk, mens andre køres ved varierende kammertryk. Kammertrykket kan, som det forklares i de følgende afsnit, varieres og styres på forskellig vis. Kammertrykket kan varieres efter prøvens volumenændring eller en række rutiner, der afhænger af den spændingstilvækst, som bevægelsen af stemplet forårsager, når motoren tændes. Programmet styrer altid forsøget i form af de totale spændinger, helt uafhængigt af om forsøget køres drænet, udrænet og om der måles poretryk.

Triaxielle brudforsøg kan udføres som enten træk- eller trykforsøg, hvor der enten trækkes i prøven i den aksiale retning eller prøven trykkes sammen i den samme retning. Om et forsøg skal udføres som et træk- eller trykforsøg, bestemmes af om stemplet sættes til at bevæge sig henholdsvis ned eller op via de knapper, som blev omtalt ovenfor. Det skal i denne sammenhæng bare nævnes, at processerne bag de forskellige menupunkter kan håndtere både tryk- og trækforsøg.

3.8.1. Konstant Kammertryk, D

Det drænedede brudforsøg, hvor kammertrykket holdes konstant, er sammenlignet med alle andre typer af triaxial forsøg meget simpelt. Spændingsstien for forsøget er vist i figur 12. Brugeren skal i programmet bare indtaste den ønskede værdi for kammertrykket. Programmet omsætter den indtastede værdi til fire grænser, som efterfølgende sendes fra computeren til MGC'en, når denne bruges som opsamlingsenhed.

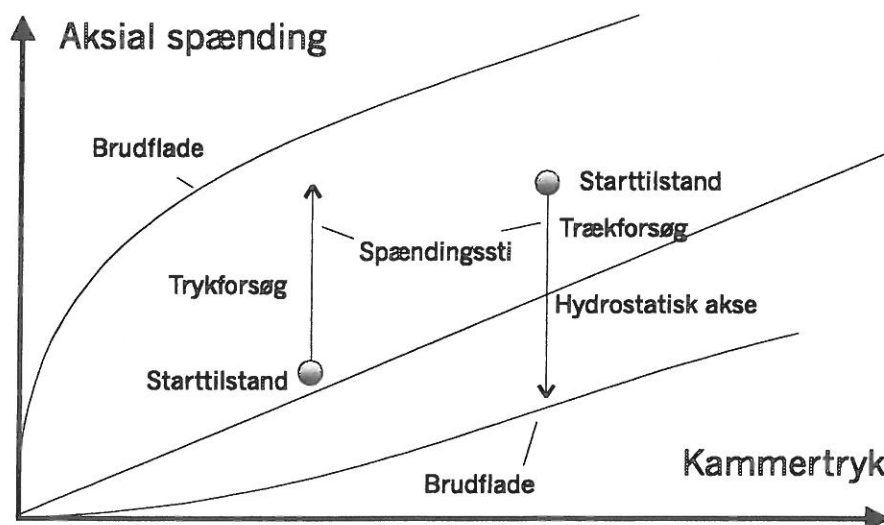


Fig. 12. Spændingsstien når kammertrykket holdes konstant.

Bruges CMP'en som opsamlingsenhed, skal brugeren selv indstille grænserne på CMP'en, men værdien skal alligevel indtastes i programmet. De sendte eller manuelt indstillede grænser sikrer nu, at kammer-

trykket holdes konstant gennem forsøgstrinnet. Computeren afsender herefter tre bip lyde, og brugeren skal, som forklaret i programmet, da bare tænde for den manuelle styring til stemplet. Undervejs bør brugeren lige checke, om forsøget gennemføres med den ønskede tøjningshastighed. Programmet viser løbende en værdi for den aktuelle tøjningshastighed. Tøjningshastigheden beregnes som middelværdien af tøjningshastigheden over det seneste minut, og værdien opdateres kun, når der er gået et nyt minut. Af figur 12 ses det, at forsøgstrinnet kan startes uafhængigt af, hvilken spændingstilstand prøven befinder sig i, inden forsøgstrinnet startes. Data gemmes i den forsøgsdatafil, der starter med "KK" og afsluttes via menupunktet *Afslut trin*.

3.8.2. Konstant Middelspænding, D

For at kunne styre middelspændingen under et brudforsøg anvender programmet den korrektionsbestemte spændingsstyring. Middelspændingen bestemmes som en tredjedel af summen af den aksiale spænding og to gange den radiale spænding (svarende til to gange kammertrykket). Den aksiale spænding aflæses hvert andet sekund, mens kammertrykket ændres, så middelspændingen holdes så godt som konstant. Ændringen af kammertrykket foregår umiddelbart efter aflæsningen af den aksiale spænding.

Figur 13 viser, at spændingsstien for denne forsøgstype står vinkelret på den hydrostatiske akse, og at kammertrykket reduceres indtil brud under et trykforsøg, men også at kammertrykket øges indtil brud under et trækforsøg.

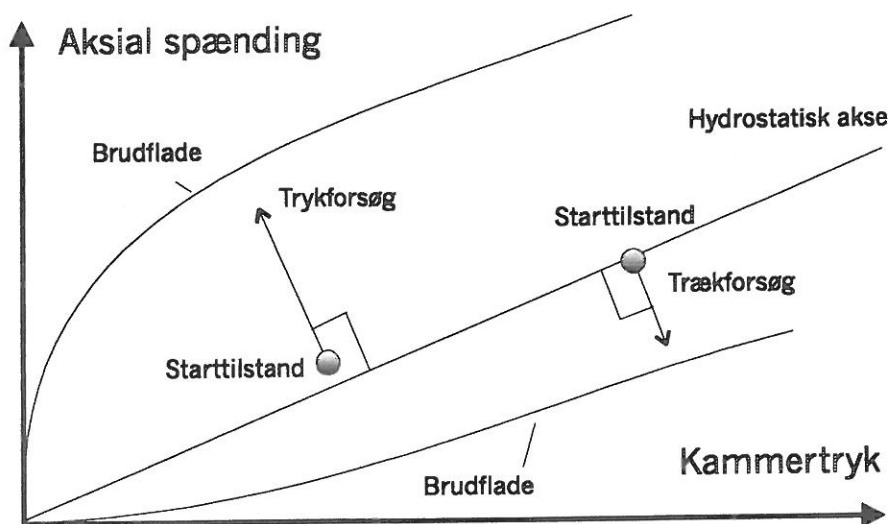


Fig. 13. Spændingsstien når middelspændingen holdes konstant.

Brugeren skal i programmet indtaste en værdi for den ønskede middelspænding, som nogenlunde skal svare til den middelspænding, som prøven er belastet med, lige inden forsøget sættes i gang. Brugeren skal, som under de andre typer af brudforsøg, selv sætte motoren på manuel styring, når computeren har afgivet de tre bip lyde.

Data gemmes i den forsøgsdatafil, der starter med "KM" og afsluttes via menupunktet *Afslut trin*. Det skal lige understreges, at menupunktet kun kan aktiveres, når MGC'en bruges som opsamlingsenhed, og når kraftrammen bruges til måling af den aksiale spænding. Vejecellen må ikke bruges, da kammertrykket varierer under forsøget.

3.8.3. Konstant dq/dp , D

Det er via programmet muligt at udføre en forsøgstype, hvor forholdet mellem inkrementet i deviator spændingen over inkrementet i middelspænding holdes konstant. Deviator spændingen, q , findes som forskellen mellem den aksiale spænding og den radiære spænding, hvorimod middelspændingen findes som beskrevet i afsnit 3.8.2. Figur 14 viser nogle eksempler på spændingsstier, som kan følges, når dette menu punkt aktiveres.

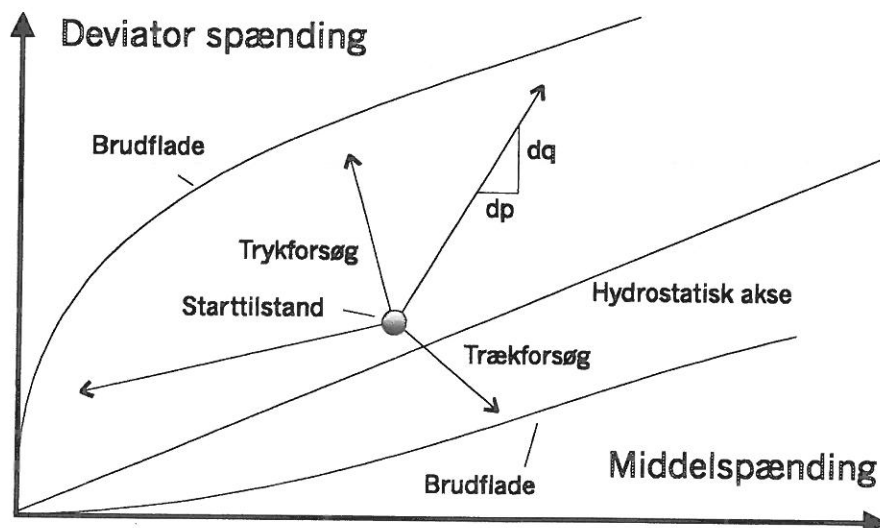


Fig. 14. Eksempler på mulige spændingsstier, når menu punktet Konstant dq/dp , D vælges.

Figuren viser, at forsøgstrinnet kan startes fra en anisotropisk spændingstilstand. Forsøgstrinnet kan naturligvis også startes fra en isotropisk spændingstilstand. Når menu punktet aktiveres, skal brugeren indtaste værdier for 1) middelspændingens startværdi, 2) deviator spændingens startværdi samt 3) det ønskede forhold mellem de nævnte inkremer. Brugeren sætter motoren på manuel styring, efter computeren har afsendt de tre bip lyde og afslutter forsøgstrinnet ved aktivering af menu punktet *Afslut trin*.

Data gemmes i den forsøgsdatafil, som starter med "QP". Brugeren kan kun aktivere menu punktet, når MGC'en bruges som opsamlingsenhed, og når den aksiale spændingskomponent måles ved hjælp af krafttrammen.

3.8.4. Konstant Kammertryk, UD

Ved at aktivere menu punktet *Konstant Kammertryk, UD* kan brugeren starte et brudforsøg, hvor kammertrykket holdes konstant samtidig med, at drænene til prøven lukkes. Der er ingen større programmæssige forskelle mellem den drænede og udrænede udgave af denne forsøgstype, så der henvises blot til afsnit 3.8.1.

3.8.5. Konstant Volumen, UD

Når menu punktet *Konstant volumen, UD* aktiveres, får brugeren mulighed for at køre et brudforsøg, hvor prøvens volumen holdes konstant. Forsøgstypen bruger den fotocellebestemte spændingsstyring til fastholdelse af volumenet. Forsøgstypen er noget speciel, og det er da også sjældent, at forsøgstypen ses anvendt i litteraturen. På Aalborg Universitet er forsøget dog ret populært.

Det kan diskuteres, om forsøget skal betragtes som et drænet eller udrænet forsøg. Det kan betragtes som et drænet forsøg, da drænene er åbne under hele forsøget, men det kan også betragtes som et udrænet forsøg, da forsøget er volumenkonstant. Uafhængigt af om det bør betragtes som det ene eller det andet, så er forsøgsproceduren og brugen af programmet den samme. Forsøget gennemføres på den måde, at brugeren kobler fire fotoceller til lige så mange relæer, der så igen kobles til den motor, som styrer kammertrykket. Fotocellerne kan aktivere eller deaktivere de nævnte relæer, afhængigt af om der henholdsvis presses vand ud af prøven, eller om der suges vand ind i prøver. Det samlede system minder meget om de styringskort, der er indbygget i f.eks. MGC'en. I forhold til MGC'en svarer de fire fotoceller til de fire grænser, som sendes fra computeren til MGC'en, når det f.eks. ønskes at fastholde kammertrykket.

Fotocellerne er koblet på et meget tyndt rør med vand, der er direkte forbundet med vandet inde i prøven. Fotocellerne aktiverer eller deaktiverer motoren til kammertrykket, når vandoverfladen i røret bevæger sig et vist stykke enten op eller ned. Systemet er så fintfølede, at prøven i praksis ikke ændrer volumen. Det er derfor mere rimeligt at tale om tendenser til volumenændring end om reelle volumenændringer. Figur 15 viser, hvordan styringen fungerer, når prøven under forsøgstrinnet tenderer mod henholdsvis volumensammentrykning og volumenudvidelse.

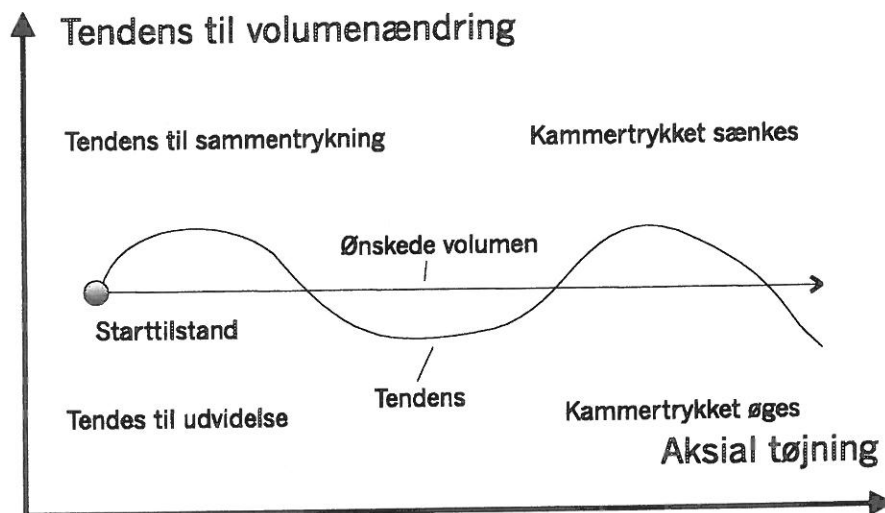


Fig. 15. Principskitse af hvordan kammertrykket styres, når prøvens volumen ændrer sig lidt. Volumenændringen er så lille, at det i realiteten mere drejer sig om tendenser end om reelle volumenændringer.

Brugeren skal, når menupunktet aktiveres, indtaste en værdi for den volumenændring, som prøven har ændret sig med indtil da. Værdien kan bestemmes ved at sammenligne data fra den forsøgsdatafil, der indeholder de generelle data med den seneste forsøgsdatafil. Værdien bruges til at sikre, at eventuelle ændringer i målingerne fra vægten eller backpressuresystemet ikke påvirker beregningen af display signaler, og dermed de forsøgsresultater som vises på skærmen og som gemmes i filen "Triax.dat".

Brugeren skal sætte motoren til stemplet på manuel styring, når computeren har afsendt de tre bip lyde. Der kan ligeledes være et par knapper på triaxial apparatet, som skal slås over på styring via fotocelle, men da dette forhold er apparat afhængig må brugeren selv afdække, hvilke knapper det drejer sig om. Menu-punktet kan ikke aktiveres, når vejecellen bruges til måling af den aksiale spænding, da kammertrykket varierer under forsøgstrinnet. Data gemmes i den forsøgsdatafil, der starter med "CV", og forsøget afsluttes ved aktivering af menupunktet *Afslut trin*.

3.8.6. Oedometer, D

Ved aktivering af menupunktet *Oedometer, D* kan brugeren gennemføre et oedometerforsøg med enten varierende eller konstant tøjningshastighed samtidig med, at kammertrykket holdes konstant. Kammertrykket virker i dette tilfælde som et backpressure, da vandet i triaxial cellen er direkte forbundet med vandet inde i prøven. Forsøget kan kun gennemføres, når den i afsnit 3.7.5 nævnte konsolideringscelle er installeret i triaxial apparatet. Brugeren skal, når menupunktet aktiveres, bare indtaste en værdi for det kammertryk, som forsøgstrinnet skal gennemføres ved. Programmet beregner herefter de fire grænser, der umiddelbart efter sendes fra computeren til MGC'en, når denne bruges som opsamlingsenhed. Bruges CMP'en som opsamlingsenhed, skal brugeren selv indstilles grænserne for kammertrykket.

Da forsøget gennemføres ved et konstant kammertryk, er det muligt at anvende vejecellen til måling af den aksiale spændingskomponent. Brugeren skal selv skifte til manuele styring af stemplet, når computeren har afsendt de tre bip lyde. Brugeren kan selv vælge mellem, om prøven skal belastes eller aflastes. Forsøgstrinnet afsluttes ved aktivering af menupunktet *Afslut trin*, mens data gemmes i den forsøgsdatafil, der starter med "OE".

3.9. Hovedmenuen Genopstart

Under hovedmenuen *Genopstart* findes menupunktet *Genopstart*, hvor brugeren har mulighed for at genstarte et forsøg, der er kørt ned. Kravet til at kunne genstarte forsøget er, at der eksisterer mindst to forsøgsdatafiler, som begge kan genåbnes af programmet. Den første fil er den forsøgsdatafil, som indeholder de generelle data, mens den anden fil kan være en hvilken som helst anden forsøgsdatafil.

Programmet skal selvfølgelig have indlæst al den information, som programmet var i besiddelse af, inden forsøget kørte ned. Informationerne indlæses, dels ved at brugeren svarer på de spørgsmål som programmet stiller og dels ved at indlæse data fra de nævnte forsøgsdatafiler. Når brugeren har svaret på spørgsmålene, aflæser programmet prøvens nuværende spændings- og tøjningstilstand og viser resultatet på skærmen. Brugeren kan herefter fortsætte med gennemførelsen af forsøget.

3.10. Hovedmenuen Information

Brugeren kan ved aktivering af de menupunkter, der ligger under hovedmenuen *Information*, hente diverse informationer frem på skærmen. De følgende afsnit beskriver, hvilke informationer brugeren kan få, når de forskellige menupunkter aktiveres.

3.10.1. Vis en Fil

Når menupunktet *Vis en fil* aktiveres, får brugeren mulighed for at editere en tekstfil. Programmet foreslår, at der vælges en fil fra det bibliotek, som indholder forsøgets forsøgsdatafilerne, men andre filer kan også vælges. Når brugeren har valgt fil, åbnes editoren med den valgte fil. I editorens systemmenu kan brugeren vælge mellem at åbne en ny fil eller lukke editoren igen.

3.10.2. Vis Billeder

Menupunktet *Vis billeder* virker i store træk som tekst-editoren. Den eneste forskel mellem dem er, at der under *Vis billeder* vises billeder, mens der under *Vis en fil* vises tekstfiler. Editoren er en BMP-editor og

kan kun bruges til visning af billeder i dette format. Brugeren kan f.eks. hente og vise de billeder, som placeres på computeren under installationen af programmet, se eventuelt kapitel 2.

3.10.3. Vis Data for Aflæsning

Når menupunktet *Vis data for aflæsning* aktiveres, vises en sekvens af tal, som på en lidt indviklet måde fortæller brugeren, hvornår programmet gemmer relevante forsøgsdata. Afsnittet vil afdække, hvornår programmet aflæser data, hvornår måleresultaterne opdateres på skærmen, samt hvornår programmet gemmer.

Programmet opdaterer måleresultater (på skærmen) hvert tiende sekund uafhængigt af forsøgstypen samt gemme- og aflæsningsmekanismen. Programmet aflæser alle relevante data mindst en gang hvert tiende sekund, men for visse forsøgstyper foretages aflæsningen noget oftere. Aflæsningen foregår oftere, når brugeren gennemfører et forsøgstrin, hvor den korrektionsbestemte spændingsstyring anvendes. Begrundelsen herfor er, at kammertrykket under den korrektionsbestemte spændingsstyring skal opdateres nærmest kontinuert for, at den ønskede spændingssti kan følges uden større udsving. I de tilfælde hvor programmet anvender den korrektionsbestemte spændingsstyring, foretages aflæsningen samt opdateringen af de grænser, der styrer kammertrykket med ca. 1-2 sekunders mellemrum.

Når brugeren aktiverer menupunktet fremkommer der en dialogboks, som indeholder information om tidsintervallet mellem hver gang programmet gemmer forsøgsdata. Tidsintervallet mellem hver lagring vokser, som vist i tabel 5, med antallet af gange der er gemt.

Antal gange der er gemt under det pågældende forsøgstrin	Tidsinterval mellem hver lagring [s]
1-500	20.00
501-600	60.00
601-660	300.00
661-700	1000.00
701-800	2000.00
801-1000	3000.00
1000-?	4000.00

Tabel 5. Tidsinterval mellem hver gang programmet gemmer forsøgsdata.

Variablen "Tell_1" styrer, hvor mange gange der er gemt tidligere under et givent forsøgstrin. Variablen nulstilles hver gang et forsøgstrin afsluttes via menupunktet *Afslut trin*. Gemmemekanismen starter altså forfra, hver gang brugeren starter et nyt forsøgstrin.

Det er dog ikke altid ønskeligt, at der kun gemmes som angivet i tabellen. Brugeren kan selvfølgelig være interesseret i at gemme noget oftere eller gemme et mindre antal gange pr. forsøgstrin. Programmet giver dog også mulighed for at ændre på gemmemekanismen. En mulighed er, at et forsøgstrin splittes op i flere mindre forsøgstrin. Dette kan sikre, at der gemmes noget oftere. En anden mulighed er at ændre værdien for variabelen "Tell_1", mens forsøgstrinnet gennemføres. Værdien ændres ved, at brugeren i konsollen til HTBasic tillægger variabelen en ny værdi. Gemmemekanismen kan eksempelvis nulstilles ved at skrive "Tell_1=1" (samt trykke <Enter>).

En tredje mulighed er at ændre tidsintervallerne i gemmemekanismen. Brugeren skal dog være opmærksom på, at hvis tidsintervallerne ændres, så ændres tidsintervallerne også i efterfølgende forsøgstrin.

Tidsintervallerne er gemt i den globale array variable, som hedder "Tid_step(*)". Variablen indeholder, som forklaret i kommentarerne i programmet 13 heltal, som informerer programmet om, hvornår der skal gemmes og aflæses. De første syv tal i variablen, "Tid_step(1-7)", indeholder værdier for tidsintervallerne, og disse kan ændres gennem HTBasic konsollen. Brugeren kan f.eks. ændre det andet tidsinterval (i tabel 5) fra 60 til 20 sekunder ved at skrive "Tid_step(2)=20" i konsollen. Øvrige værdier ændres på samme måde. Tidsintervallerne kan i princippet sættes til hvad som helst, men bør af programmæssige bindinger ikke sættes mindre end 10 sekunder og bør også kun være en heltals multiplikation af de 10 sekunder. Gyldige værdier er 10, 20, 30 osv.

3.10.4. Aflæs Værdier

Brugeren kan aflæse prøvens aktuelle spændings- og tøjnings tilstand ved at aktivere menupunktet *Aflæs værdier*. Resultatet vises efterfølgende på skærmen, men data gemmes ikke. Det skal i denne forbindelse bare nævnes, at menupunktet ikke bør aktiveres under et igangværende forsøgstrin.

3.10.5. Nulpunkt Stempel

Det kan i nogle tilfælde være nødvendigt at ændre på nulpunktet for den transducer, der bruges til måling af den aksiale spænding. Brugeren kan ved aktivering af menupunktet *Nulpunkt stempel* ændre værdien for nulpunktet. Menupunktet bør ikke aktiveres under et igangværende forsøgstrin.

3.10.6. Ret Generelle Data

Brugeren kan, når menupunktet *Ret generelle data* aktiveres, ændre i forsøgets generelle data. Menupunktet kan eksempelvis bruges, hvis brugeren ønsker at rette nogle nulpunkter eller prøvedimensioner. Menupunktet bør ikke aktiveres under et igangværende forsøg.

3.10.7. Om Programmet

Brugeren får lidt information om programmet, hvis menupunktet *Om programmet* aktiveres.

3.11. Hovedmenuen Afslut

Hovedmenu *Afslut* kan bruges til; at 1) afslutte et igangværende forsøgstrin, 2) slette alle tøjningsrelaterede grænser på MGC'en og 3) slette alle spændingsrelaterede grænser på MGC'en.

3.11.1. Afslut Trin

Menupunktet *Afslut trin* skal bruges, hver gang et igangværende forsøgstrin skal afsluttes. Hvis brugeren vælger at afslutte forsøgstrinnet, aflæses alle relevante kanaler, de behandlede resultater vises på skærmen, gemmes i den aktuelle forsøgsdatafil, og filen kopieres over på a-drevet.

Er vandmætningsproceduren ikke afsluttet, skal brugeren svare på, om den skal afsluttes, eller om den skal fortsættes. Hvis brugeren vælger at afslutte vandmætningsproceduren, tages der nulpunkt for volumendringen (og for poretrykket, hvis denne måles). Afsluttes et "SB" forsøg, forklarer programmet, hvordan prøven kommer tilbage til den oprindelige spændingstilstand. Når der er svaret på alle spørgsmålene, kan et nyt menupunkt aktiveres.

3.11.2. Tøjningsgrænser

Menupunktet *Tøjningsgrænser* kan kun aktiveres, når MGC'en bruges som opsamlingsenhed. Hvis menu-punktet aktiveres, så bliver brugeren spurgt om der ønskes at sætte alle tøjningsrelaterede grænser ud af funktion. De tøjningsrelaterede grænser svarer i MGC termer til kanalerne 7 og 9, hvor den aksiale flytning måles via to flytningstransducere (se kap. 2). Menupunktet kan aktiveres under et igangværende forsøgs-trin.

3.11.3. Spændingsgrænser

Menupunktet *Spændingsgrænser* kan kun aktiveres, når MGC'en bruges som opsamlingsenhed. Menupunktet sætter alle spændingsrelaterede grænser ud af funktion, hvis brugerne svarer ja til et indledende spørgsmål. De spændingsrelaterede grænser svarer i MGC termer til kanalerne; 1, 3, og 11, hvor henholdsvis kammertrykket og stempeltrykket måles. Menupunktet kan aktiveres under et igangværende forsøgstrin.

3.12. Referencer og Nyttige Henvisninger

- HBM. 1996. "Operation manual, measurement amplifier for panel mounting MVD2555 Part I", Tyskland.
- HBM. 1996. "Operation manual, MVD2555 Part II: Operation with computer or terminal", Tyskland.
- HBM. 1991. "Operation manual for measuring amplifier systems MGC/IGC", Tyskland.
- TransEra. 1994. "Htbasic - Installing and Using the Windows version", USA.
- TransEra. 1994. "Htbasic - Reference Manual", USA.
- TransEra. 1994. "Htbasic - User Guide", USA.
- TransEra. 1994. "Htbasic Plus - Programming Guide", USA.
- TransEra. 1994. "Htbasic Plus - Reference Manual", USA.
- Struers. "Brugsanvisning Mettler AM-PM-SM vægte", Danmark
- Jakobsen, K.P. & Praastrup, U. 1998. "Drained Triaxial Tests on Eastern Scheldt Sand", AAU Geotechnical Engineering Papers, Laboratory Testing Paper No 24. Aalborg Universitet.
- Praastrup, U. 1999. "Manual for Udførelse af Triaxialforsøg ved AAU - Kap. 2. Standardkonfiguration", AAU Geotechnical Engineering Papers. Manuals and Guides No 2, Aalborg Universitet.
- Praastrup, U. Jakobsen, K.P. & Ibsen, L.B. 1999. "Two Theoretical Consistent Methods for Analysing Triaxial Tests", Computers & Geotechnics, 25, 157-170.
- Praastrup, U. 2000. "Manual for Udførelse af Triaxialforsøg ved AAU - Appendix 1. Programmer til Triaxial Forsøg", AAU Geotechnical Engineering Papers. Manuals and Guides No x, Aalborg Universitet.

